

RÁDIOVÉ URČOVANIE POLOHY V CDMA BUNKOVÝCH SIETACH

Ing. Peter Brída

Žilinská univerzita, Elektrotechnická fakulta, Katedra telekomunikácií, Veľký Diel, 010 26 Žilina

Summary: Applications for the positioning of subscribers of wireless networks still grow. Consequently, using suitable location methods for wireless technologies is very important for fine estimate of location. This article discusses the location methods available for its implementation in CDMA (Code Division Multiple Access) networks and applications of location technology.

I. ÚVOD

Určovanie polohy užívateľov v bezdrôtových mobilných systémoch zaznamenalo v poslednom období veľký rozmach. Služby založené na určovaní polohy, ktoré môžu ponúknuť mobilní operátori zákazníkovi sú veľmi atraktívne pre užívateľov zo strany nových služieb a samozrejme z finančného hľadiska aj pre operátorov. Zákazníka nemusí zaujímať, akým spôsobom určí operátor – sieťové zariadenia jeho polohu. No tí, ktorí sa zaoberajú touto problematikou vedia, že určiť čo najpresnejšiu polohu v rádiových mobilných sieťach nie je maličkosť.

Základnou funkciou systému určovania polohy je získavať informácie, ktoré sú potrebné na určenie polohy mobilnej stanice (MS). Systémy rádiového určovania polohy určujú polohu MS meraním parametrov rádiového signálu šíriaceho sa medzi MS a súborom pevných staníc – základňových staníc. Existujú dva základné spôsoby, pomocou ktorých sa realizuje určovanie polohy:

- určovanie polohy mobilnou stanicou – vlastné určovanie polohy
- určovanie polohy sieťou – diaľkové určovanie polohy

Pri spôsobe vlastného určovania polohy určuje svoju polohu samotná MS, ktorá uskutočňuje potrebné merania parametrov signálov, vysielaných zo základňových staníc. Výsledky týchto meraní následne využíva na určovanie vlastnej polohy. Najrozšírenejší systém využívajúci vlastné určovanie polohy je GPS (Global Position System). Najväčšou nevýhodou tohto spôsobu určovania polohy je investícia spojená so zavedením nových mobilných staníc. Navyše pridaním hardvéru sa zväčší hmotnosť a veľkosť MS, čo je v protiklade s práním používateľov. Tento spôsob môže podstatne znížiť technické požiadavky a môže poskytnúť vyššiu presnosť, ako pri realizácii určovania polohy s existujúcimi mobilnými stanicami [1].

Pri spôsobe diaľkového určovania polohy sú všetky potrebné zmeny (softvérové, hardvérové) uskutočnené na strane siete. Princíp je založený na tom, že jedna alebo viac základňových staníc, alebo lokalizačný server (LCS) meria potrebné parametre signálov pochádzajúcich od objektu (MS), ktorého polohu je potrebné určiť. Výsledky meraní sú odovzdané na centrálnom mieste (LCS), kde sú kombinované a z nich je vypočítaná poloha objektu.

V súčasnosti sa z pohľadu tiesňových volaní (911 v USA, alebo 112 v Európe) uprednostňuje určovanie polohy sieťou pred prvým spôsobom určovania polohy, ktorý je finančne náročnejší. Tento spôsob vychádza

v ústrety širokej základni mobilných prijímačov už existujúcich v bunkových sieťach.

Vo všeobecnosti si určovanie polohy MS v dvojrozmernom priestore vyžaduje minimálne tri základňové stanice, aby sa odstránili možné nejednoznačnosti, vznikajúce pri určovaní polohy.

Schopnosť určiť polohu MS je závislá na získaní presných informácií, ktoré môžu byť použité pri určovaní polohy. Parametre určovania polohy (ďalej len parametre), ako sú hodnoty AoA, ToA a TDoA, musia byť najskôr presne zamerané, aby ich mohol následne algoritmus zúžitkovať na výpočet odhadu polohy mobilnej stanice. Z toho vidno, že proces výpočtu odhadu polohy MS pozostáva z dvoch častí. V prvej časti sa získavajú parametre a druhú časť tvorí algoritmus, ktorý využíva zamerané parametre na výpočet polohy mobilnej stanice.

Presnosť pri určovaní polohy v bezdrôtových komunikačných systémoch ovplyvňujú predovšetkým vlastnosti prostredia, v ktorom sa signál šíri. Na presnosť určovania polohy má vplyv akým spôsobom sa signál šíri, t.j. viaccestné šírenie a šírenie bez priamej cesty (NLoS - Non Line of Sight). Podiel na chybe má tiež vzájomné rušenie používateľov tzv. efekt blízkeho a vzdialeného konca, ktorý hrá podstatnú úlohu najmä v CDMA systémoch. Veľkosť bunky hrá samozrejme dôležitú úlohu pri určovaní polohy.

Tento príspevok pojednáva o metódach, ktoré sa najčastejšie používajú na získania parametrov v CDMA sieťach, ale ďalej už nevenuje pozornosť algoritmom, ktoré sa využívajú pri výpočte polohy mobilnej stanice.

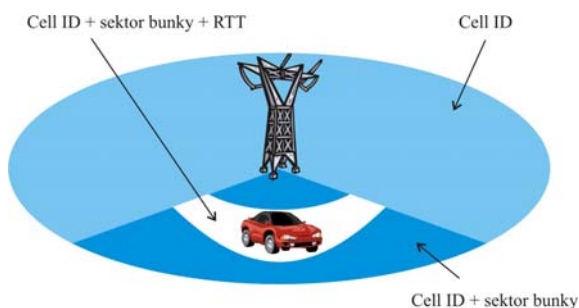
Článok bude mať nasledovné rozloženie. V I. kapitole sú rozanalyzované možné spôsoby určovania polohy, chyby, ktoré ovplyvňujú presnosť určovania polohy. Kapitola II. sa zaoberá metódami určovania polohy. V kapitole III. sú zhrnuté výhody a nevýhody jednotlivých metód. V IV. kapitole sa zaoberám aplikáciami, ktoré môžu nájsť uplatnenie pri určovaní polohy.

II. METÓDY URČOVANIA POLOHY

A. Metóda identifikácie bunky

Metóda identifikácie bunky je cenovo najpriaznivejšou cestou k určovaniu polohy MS. Jej veľkou výhodou je jednoduchá implementácia do existujúcej mobilnej siete bez nutnosti zmeny v MS a v sieťovej časti. Na jednej strane finančne výhodné podmienky pre realizáciu, ale na druhej strane nedostatočná presnosť v porovnaní s inými metódami určovania polohy.

Každý mobilný telefón v sieti je identifikovaný prostredníctvom čísla SIM karty. Základňové stanice si odovzdávajú účastníkov siete podľa intenzity poľa signálu. To znamená, že sa dá určiť základňová stanica (ZS) pod ktorú v danom okamihu spadá poloha každej aktívnej SIM karty (mobilnej stanice) v sieti. Zo strany siete poznáme súradnice danej BS, tiež vieme akú veľkú plochu pokrýva daná BS, t.j. vieme určiť na akom území sa môže nachádzať MS. Pretože MS sa môže nachádzať kdekoľvek v danej bunke, presnosť tejto metódy závisí od veľkosti bunky a vo veľa prípadoch je veľmi zlá. Určovanie polohy je vo všeobecnosti presnejšie v mestských oblastiach s hustou sieťou menších buniek než vo vidieckych oblastiach, ktoré sú pokryté menším počtom základňových staníc.



Obr. 1 – Metóda identifikácie bunky

Ako je uvedené na obr. 1, veľkosť plochy identifikovanej bunky môžeme korigovať tým, že určíme sektor bunky v ktorom sa MS nachádza. Ďalšie zlepšenie presnosti metódy spočíva v zmeraní RTT (časový rozdiel medzi začatím vysielania rámcu po zostupnom kanále DPCH do MS a začatím prijímania príslušného signálu z MS) [2, 3].

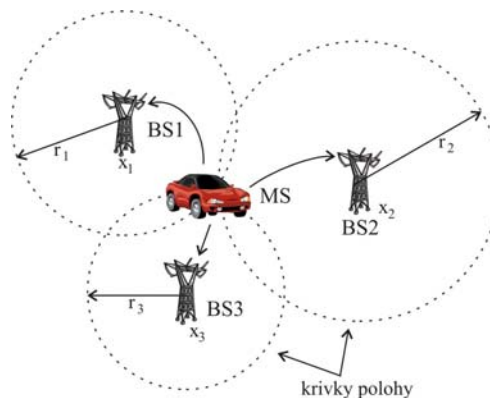
B. Metóda merania intenzity poľa signálu

Meranie intenzity poľa signálu je dobré známa metóda na určovanie polohy MS v rádiovéj sieti [4, 5], ktorá používa matematický model opisujúci úbytok výkonu signálu so zväčšujúcou sa vzdialenosťou [6]

$$\Delta P(\text{dB}) = 10\alpha \log\left(\frac{f}{c}\right) - 10\beta \log(4\pi d) \quad (1)$$

kde ΔP je rozdiel medzi vysielaným a prijímaným výkonom signálu, f je nosná frekvencia [Hz], c je rýchlosť svetla [m/s] a d je vzdialenosť medzi meranými miestami. Parameter α je frekvenčný faktor a β je konštanta opisujúca terénne a topografické vlastnosti prostredia.

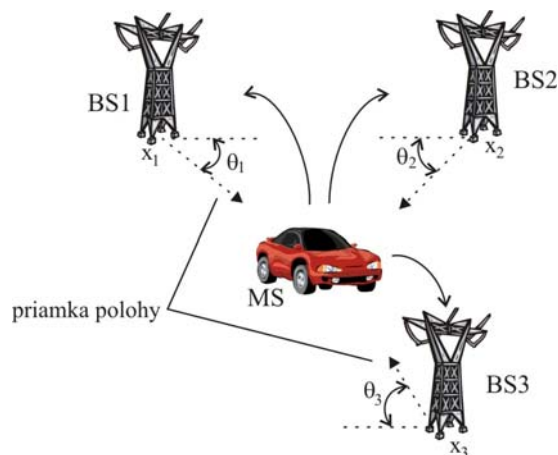
MS meria výkon vysielaných signálov z najmenej troch základňových staníc, alebo naopak najmenej tri základňové stanice merajú výkon signálu vysielaného z mobilnej stanice [7]. Týmto meraniami získame priesečník troch kružníc, v ktorom sa nachádza MS. Každá kružnica má stred v mieste ZS. Polomer kružnice nám udáva vzdialenosť medzi MS a ZS.



Obr. 2 – Meranie intenzity poľa signálu

C. Metóda merania uhla príchodu AoA

Názov metódy je získaný z anglického názvu Angle of Arrival – AoA. Odhad polohy MS sa realizuje meraním uhlov prichádzajúcich signálov z MS v niekoľkých základňových staniciach použitím smerových antén, alebo anténových sústav. Jedno meranie nám vždy vytvorí priamku polohy zo ZS do MS. Z ďalšieho merania získame druhú priamku, priesečník priamok polohy nám udáva polohu MS.



Obr. 3 – Meranie uhla príchodu signálu

Existuje niekoľko metód na určovanie AoA v prijímači. Určovanie parametrov AoA sa zvyčajne realizuje prostredníctvom anténových sústav (polí) v základňových staniciach. Anténová sústava je zložená z určitého počtu anténových prvkov, ktoré sú prepojené pomocou kombinačnej siete. Anténové sústavy sú v súčasných mobilných rádiových systémoch umiestňované iba v základňových staniciach, pretože je náročné umiestniť tento typ antény v MS. Medzi metódy pomocou, ktorý sa určujú AoA parametre patria:

- Podpriestorové metódy – najznámejší je MUSIC (Multiple Signal Classification – klasifikácia viacnásobných signálov) algoritmus
- Konvenčné metódy – princíp spočíva v určení uhlu, ktorý zvyšuje výstupný výkon anténového radu.

D. Metóda založená na meraní času

Metódy založené na meraní času sa snažia získať presné časy príchodu signálov v niekoľkých základňových stanicích. Keďže sa elektromagnetické vlny vo voľnom priestore šíria konštantnou rýchlosťou (rýchlosť svetla), môžeme ľahko určiť vzdialenosť medzi dvoma bodmi meraním časového oneskorenia rádiových vln vysielaných medzi nimi. Poznáme dve základné metódy, ktoré sú založené na meraní času príchodu:

- ToA – Time of Arrival – Čas príchodu
- TDoA – Time Difference of Arrival – Rozdiel časov príchodov

ToA

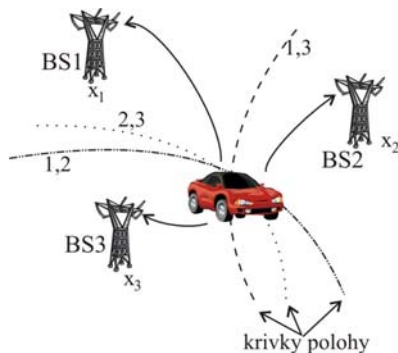
Tieto metódy pri určovaní polohy MS vychádzajú z princípov kódovej synchronizácie vstupného signálu. Počas procesu získania synchronizácie kódu môžeme určiť časové oneskorenie. Podstata týchto metód spočíva v hľadaní riešenia maximalizačnej úlohy:

$$\max_{\tau} \int_0^{LT_C} c(t + \tau)c(t)dt, \quad (2)$$

kde L je dĺžka kódovej postupnosti, pomocou ktorej sa vykonáva hľadanie, T_C je chip interval a τ je merané časové oneskorenie. Vstupný signál je postupne porovnávaný s lokálnym rozprestierajúcim kódom. Keď majú signály maximálnu koreláciu, určíme čas oneskorenia. Krivky polohy sú v tomto prípade kružnice, centrovane v základňových stanicích rovnako ako to je v prípade metódy merania intenzity poľa signálu (obr. 2).

TDoA

Pri TDoA metóde sú použité rozdiely časov príchodov signálov. TDoA metóda je založená na získaní dvoch ToA časov v dvoch rozdielnych základňových stanicích, potom sa z týchto dvoch nameraných časov vypočíta rozdiel časov príchodov. Rozdiel časov vytvára hyperbolu, t.j. hyperbola je krivka konštantného rozdielu časov príchodu pre dve základňové stanice, krivky polohy sú dané hyperbolami s ohniskami v základňových stanicích, na ktorých musí ležať MS. Odhadovaná poloha MS sa nachádza v priesečníku hyperbol ako ukazuje obr. 4.



Obr. 4 – Princíp metódy TDoA

Konvenčné metódy na výpočet týchto časových odhadov používajú korelačné techniky. Všeobecný model pre odhad TDoA predpokladá dva prijaté signály v základňových stanicích v tvare

$$r_1(t) = s(t) + n_1(t) \quad (3)$$

$$r_2(t) = As(t - \tau) + n_2(t) \quad (4)$$

kde τ je oneskorenie prichádzajúceho signálu do druhej BS z prvej BS.

Vzájomná korelačná funkcia signálov (3) a (4) má nasledovný tvar

$$C_{1,2}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T r_1(t)r_2(t + \tau)dt \quad (5)$$

Pri metóde TDoA je dôležitou podmienkou presného určenia polohy kvalitná synchronizácia pre všetky vysieláče a prijímače, ktoré merajú časové údaje. Napr. ak je v synchronizácii chyba 1 μ s môže sa do merania zaviesť chyba až 300 m [8].

III. VÝHODY A NEVÝHODY METÓD URČOVANIA POLOHY

Vo voľnom priestore môže byť metóda *Merania intenzity poľa signálu* veľmi presná, ale v mestských oblastiach sú komplikovaným prostredím spôsobené veľké chyby. Najväznejší dôvod, ktorý spôsobuje chybu je fakt, že môžu vzniknúť nejednoznačné merania, t.j. v polohách, ktoré sú v podstatne rozdielnych vzdialenostiach od vysieláča môžeme zaznamenať rovnaký pokles výkonu. Aj keď tento problém môžeme minimalizovať, stále ešte bude nevyhnutné zmapovať aktuálne úrovne signálu v rozdielnych lokalitách. Také mapovanie bude citlivé na zmeny v okolitom prostredí, ako sú napr. stavby budov a pod..

Keďže je táto metóda identifikácie bunky relatívne nepresná a jej samostatné použitie v praxi nemá veľký význam, môže sa použiť v kombinácii s inými metódami na odstránenie nedokonalostí medzi kombinovanými metódami. Niektoré návrhy odborníkov v oblasti určovania polohy sú dokonca také, že táto metóda by mala byť ako predvolená metóda pre určovanie polohy. V prípade, keď iné metódy zlyhajú v určovaní polohy MS, môžeme vždy použiť túto metódu na poskytnutie približnej informácie o mobilnom telefóne v sieti [8].

Výkonnosť AoA metódy je limitovaná presnosťou, ktorou môžu byť určené parametre AoA. Presnosť AoA metódy klesá so zväčšujúcou sa vzdialenosťou medzi MS a ZS [9]. Táto metóda je vhodnejšia pre prácu v makrobunkách, lebo v mikrobunkách sú základňové stanice budú obklopené lokálnymi rušiacimi prvkami, takže signály prichádzajú do základňových staníc s veľkým uhlovým rozptylom, čomu sa vyhýbame v makrobunkách, kde sú antény základňových staníc umiestnené nad lokálnym terénom a nie sú obklopené lokálnymi rušičmi.

Zdá sa, že metódy určovania polohy založené na meraní času majú najväčší predpoklad pre poskytovanie vysokej presnosti. Na rozdiel od AoA metódy, presnosť

neklesá so zväčšujúcou sa vzdialenosťou medzi mobilnou stanicou a základňovou stanicou a nie je nevyhnutné umiestniť rozmernú anténovú sústavu do BS. Okrem toho vo všeobecnosti sa považuje za jednoduchšie zrealizovať presné meranie času ako presné meranie uhlov.

IV. APLIKÁCIE VYUŽÍVAJÚCE URČOVANIE POLOHY

Určovanie polohy za použitia CDMA bunkových sietí prináša so sebou množstvo aplikácií, ktoré sú výhodné nielen pre operátorov, ale aj pre zákazníkov. Lokalizačné služby prinášajú zákazníkovi veľa možností, ktoré značne dokážu zjednodušiť život.

V súčasnosti sa aj v GSM sieti udomáňujú služby založené na určovaní polohy. V prvej fáze išlo predovšetkým o služby typu, keď šéf mohol jednoducho zistiť, kde sa momentálne nachádzajú jeho zamestnanci. Dnes nasledujú služby, ktoré sa môžu prakticky hodiť aj súkromným zákazníkom.

Potenciálne aplikácie sú:

- Určenie polohy pri núdzových volaniach
- Využitie v inteligentných dopravných systémoch
- Tarifikačia závislá na polohe zákazníka
- Automatické presmerovanie hovoru podľa polohy zákazníka a podobne
- Zmena užívateľského prostredia terminálu so zmenou polohy
- Rôzne reklamné informácie priamo do mobilného telefónu

Veľké percento núdzových volaní (napr. v Európe 112, resp. v USA 911) je uskutočňovaných z mobilných telefónov. V mnohých prípadoch volajúci nedokáže určiť svoju polohu. Automatické poskytnutie informácií o polohe, podobne ako to je v prípade telefonujúceho z pevnej linky bude zabezpečené, aby pohotovostné vozidlo bolo vyslané do správnej lokality.

Takmer všetky služby v inteligentných dopravných systémoch požaduje informáciu o polohe dopravného prostriedku, t.j. presné monitorovanie automobilov, výhodné pre správcov diaľnic.

Rôzne informačné informácie Vám môžu uľahčiť situáciu, keď sa vyskytnete v neznámom meste. Tieto informácie nemusia byť len komerčnou záležitosťou, ale môžu to byť aj informácie na vyžiadanie.

V. ZÁVER

Tento článok poskytuje čitateľovi prehľad metód určovania polohy v CDMA bunkových sieťach. Určovanie polohy prostredníctvom rádiových systémov je v súčasnosti perspektívne. Rádiové určovanie polohy môže poskytnúť polohu bez zmeny mobilného telefónu, ale na druhej strane si môže vyžadovať nemalé náklady na zmenu infraštruktúry na strane siete. Pre presnejšie určovanie polohy sa javí najvhodnejšie použitie metód ToA, TDoA resp. AoA, zatiaľ čo poloha s menšou

presnosťou môže byť získaná zvyšnými metódami, ako je meranie intenzity poľa signálu a identifikácia bunky.

VI. LITERATÚRA

- [1] Muhammad Aatique: Evaluation of TDOA Techniques for Position Location in CDMA Systems, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Virginia, September 1997
- [2] Doboš, E. Dúha, J., Marchevský, S., Wieser, V.: Mobilné rádiové siete, EDIS, Žilinská univerzita, Žilina, 2002
- [3] Brída Peter: Location Technologies for GSM, Transcom 2003 - 5th European Conference of Young Research and Science Workers in Transport and Telecommunications, Žilina, 2003
- [4] Hata, M., Nagatsu, T.: Mobile Location Using Signal Strength Measurements in a Cellular System, *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. VT-29, May 1980, pp. 245-251
- [5] Han Lee Song: Automatic Vehicle Location in Cellular Systems, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 43, no. 4, November 1994, pp. 902-908
- [6] Svein Yngvar Willassen: A method for implementing Mobile Station Location in GSM, www.willassen.no, December 3, 1998
- [7] Thomas, N., Cruickshank, D.: A Passive Mobile Location System for UMTS, First Year Report, April 1999
- [8] Yilin Zhao, Motorola, Inc.: Standardization of Mobile Phone Positioning for 3G systems, *IEEE Communication Magazine*, July 2002, pp. 108-116
- [9] Caffery, James J., Jr.: Wireless Location in CDMA Cellular Radio Systems, Kluwer Academic Publishers, University of Cincinnati, 2000